

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2013

ELIŠKA HAVELKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

VLIV STRUKTURY A SLOŽENÍ
POLOPROPUSTNÝCH TEXTILIÍ NA JEJICH
PAROPROPUSTNOST A HYDROSTATICKOU
ODOLNOST
EFFECT OF STRUCTURE AND COMPOSITION OF
SEMIPERMEABLE FABRICS ON THEIR WATER
VAPOUR PERMEABILITY AND HYDROSTATIC
RESISTANCE

Eliška Havelková

KHT-901

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

Rozsah práce:

Počet stran textu ...35

Počet obrázků5

Počet tabulek8

Počet grafů.....9

Počet stran příloh 4

L. Hes - Témata bakalářských prací na KHT 2011/2012:

Student: Eliška Havelková

Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost

Vedoucí: prof. Luboš Hes, konzultant: Ing. Lenka Volfová, Direct Alpine, Liberec

1. Uved'te stučný přehled poznatků o komfortu textilií a způsobech jeho hodnocení, zejména pak hodnocení jejich paropropustnosti přístrojem PERMETEST a jejich hydrostatické odolnosti přístrojem M018.
2. Opatřete vzorky hustě dostavených mikrovláknenných tkanin, hydrofilních a mikroporézních laminátů a zátěrových textilií a pomocí obou přístrojů proměřte jejich paropropustnost a hydrostatickou odolnost. Hydrostatickou odolnost stanovte pro standardní a nejvyšší rychlost vzrůstu tlaku.
3. Výsledky všech měření pomocí statistických metod porovnejte a zpracujte vztahů do diagramů. Zjistěte, zda existuje statisticky významná závislost hydrostatické odolnosti proměřovaných textilií na jejich paropropustnosti, a jak oba tyto parametry ovlivňuje struktura a složení textilie.

Literatura:

Hes L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, Liberec 2005.

Lečbychová J.: Analýza standardní metody pro hodnocení hydrostatické odolnosti textilií. BP, TUL - FT 2011

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc. za velmi cenné rady a pomoc během celého vedení mé práce. Dále bych ráda poděkovala rodině, která mi umožnila studium a v neposlední řadě také přátelům, kteří mě podporovali.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá paropropustností a hydrostatickou odolností polopropustných textilií od firmy Directalpine. Teoretická část je věnována komfortu nošení, na který úzce navazuje problematika polopropustných textilií. V praktické části jsou zkoumané vzorky popsány a následně předvedeny výsledky všech měření. V závěru práce je hodnocena závislost hydrostatické odolnosti proměřovaných vzorků na jejich paropropustnosti, vliv jejich struktury a složení na tyto parametry. Dále je zkoumána možnost měření paropropustnosti za vlhka a vývoj nového přístroje pro měření hydrostatické odolnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Paropropustnost, hydrostatická odolnost, polopropustné textilie, Permetest, přístroj M018, prototyp

ANNOTATION

This bachelor's thesis deal with vapour permeability and hydrostatic resistance semipermeable fabrics made by Directalpine company. The Theoretical part is devoted to the clothing comfort, which is closely related to the issue of semipermeable textiles. The description of inspected samples and results of all measurements are presented in the practical part of the thesis. Conclusion evaluates dependence of hydrostatic resistance on vapour semi-permeability of actual samples, effect of structure and composition on these parameters. Furthermore, the possibility of measuring semipermeability in humid conditions and development of a new device for measuring hydrostatic resistance.

KEY WORDS:

Vapour permeability, hydrostatic resistance, semipermeable fabrics, Permetest, device M018, prototype

Obsah

1.	Teoretická část.....	9
1.1.	Komfort textilií	9
1.1.1.	Psychologický komfort.....	9
1.1.2.	Sensorický komfort	9
1.1.3.	Termofyziologický komfort	10
1.1.4.	Patofyziologický komfort.....	10
1.2.	Hodnocení komfortu textilií.....	11
1.2.1.	Hodnocení sensorického komfortu textilií	11
1.2.2.	Hodnocení termofyziologického komfortu	12
1.3.	Charakteristika polopropustných textilií a typy membrán.....	18
1.3.1.	Základní rozdělení polopropustných textilií [1]:	19
1.3.2.	Typy polopropustných membrán.....	19
1.4.	Způsoby spojování membrán s textilií (laminování)	21
1.5.	Firma Directalpine	23
2.	Praktická část.....	24
2.1.	Popis vzorků	24
2.1.1.	Vzorek č. 1.....	24
2.1.2.	Vzorek č. 2.....	25
2.1.3.	Vzorek č. 3.....	26
2.2.	Měření paropropustnosti textilií.....	27
2.2.1.	Měření paropropustnosti textilií za sucha.....	28
2.2.2.	Měření paropropustnosti textilií za vlhka.....	30
2.3.	Měření hydrostatické odolnosti textilií	35
2.3.1.	Měření při nárůstu tlaku 60cm H ₂ O/ minutu	35
2.3.2.	Měření při nárůstu tlaku 500cm H ₂ O/minutu	36
2.3.3.	Měření při ruční regulaci tlaku na prototypu	36
2.4.	Shrnutí průběhu měření a jejich výsledků	39

2.4.1.	Závislost hydrostatické odolnosti proměřovaných textilií na jejich paropropustnost a zhodnocení vlivu struktury a složení vzorků na těchto parametrech	39
2.4.2.	Paropropustnost textilií za sucha a za vlhka	40
2.4.3.	Porovnání výsledků měření hydrostatické odolnosti při nárůstu tlaku 60 cmH ₂ O/min s prototypem	41
3.	Závěr	43
4.	Zdroje	44
	Seznam obrázků	46
	Seznam tabulek	46
	Seznam grafů	46
	Seznam příloh	47
5.	Přílohy	48

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1. Komfort textilií

Definice Komfortu: Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat.

Komfort je vnímán všemi lidskými smysly kromě chuti, v následujícím pořadí důležitosti: hmat, zrak, sluch, čich.

Při diskomfortu mohou nastat pocity tepla nebo chladu. Pocity tepla se dostavují při větším pracovním zatížení nebo při působení teplého a vlhkého klimatu. Pocity chladu se dostavují především jako reakce na nízkou teplotu klimatu nebo nízké pracovní zatížení.

Komfort lze zjednodušeně definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů. [1]

1.1.1. Psychologický komfort

Psychologický komfort zahrnuje sedm základních hledisek, tedy klimatické, ekonomické, historické, kulturní, sociální, skupinová a individuální a hlediska patřící do oboru oděvního návrhářství a zahrnující módní vlivy, styl, barvy a lesk, trendy, osobní preference. [1]

1.1.2. Sensorický komfort

Definice sensorického komfortu: Sensorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Pocity vznikající při styku pokožky a textilie mohou být příjemné, jako pocit měkkosti, splývavosti nebo naopak nepříjemné a dráždivé, jako je tlak, pocit vlhkosti, škrábání, kousání, píchání, lepení aspod.

Sensorický komfort lze rozdělit na komfort nošení a na omak.

a) Komfort nošení zahrnuje:

- Povrchovou strukturu použitých textilií
 - Vybrané mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému
- [1]

- Schopnost textilií absorbovat a transportovat plynnou či kapalnou vlhkost s dopadem na své kontaktní vlastnosti. V tomto posledním bodě senzorický komfort souvisí s komfortem fyziologickým.

- b) Omak je veličina značně subjektivní a špatně reprodukovatelná, založená na vjemech prostřednictvím prstů a dlaně. Při jistém zjednodušení lze omak charakterizovat těmito vlastnostmi:
 - Hladkost (součinitel povrchu tření)
 - Tuhost (ohybová a smyková)
 - Objemnost (lze nahradit stlačitelností)
 - Tepelně-kontaktní vjem

[1]

1.1.3. Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort neboli stav tepelné pohody, je stav ve kterém člověk vydrží pracovat neomezeně dlouho, stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie mezi člověkem a okolím.

Termofyziologický komfort nastává za těchto optimálních podmínek:

- Teplota pokožky $33 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Relativní vlhkost vzduchu $50 \pm 10\%$
- Rychlost proudění vzduchu $25 \pm 10\text{ cm/s}$
- Obsah CO_2 $0,07\%$
- Nepřítomnost vody na pokožce

Je tedy nutné konstruovat oděvy tak, aby jejich schopnost přenosu tepla, kapalně i plynné a někdy i vzduchu zajišťovaly při nošení tyto optimální hodnoty. [1]

1.1.4. Patofyziologický komfort

Jedná se o působení chemických substancí obsažených v materiálu, ze kterého je oděv vyroben a mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce. Působení patofyziologických vlivů je závislé na odolnosti člověka proti účinkům chemických látek obsažených v textiliích. Působení oděvů může vyvolat dermatózu (kožní onemocnění). [1]

Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

1.2. Hodnocení komfortu textilií

Za pomoci rozsáhlého experimentálního výzkumu sestavili Dr. Meechels a Dr. Umbach (Institut oděvní hygieny v Německu) empirické vztahy pro objektivní hodnocení celkového komfortu i jeho složek. [1]

1.2.1. Hodnocení senzorického komfortu textilií

Senzorický komfort charakterizuje tento vztah:

$$TK_H = \alpha_1 i_{mt} + \alpha_2 i_k + \alpha_3 i_B + \alpha_4 i_o + \alpha_5 n_k + \alpha_6 s + \beta$$

i_{mt}	index prostupu vodních par (poměr tepelného a výparného odporu)
i_k	index lepidlosti (síla tření textilie po vlhké porézní desce)
i_B	index snášivosti (doba pohlcení kapky dopadající z jisté výšky)
i_o	povrchový index (povrchová drsnost/chlupatost)
n_k	počet dotykových bodů (dotyk textilie s kůží, nižší počet je lepší)

$\alpha_1 = -2,537$	$\alpha_5 = 1,71 \cdot 10^{-3}$
$\alpha_2 = 1,88 \cdot 10^{-2}$	$\alpha_6 = 3,86 \cdot 10^{-2}$
$\alpha_3 = 2,20 \cdot 10^{-3}$	$\beta = 0,36$
$\alpha_4 = 2,09 \cdot 10^{-2}$	

Rovnice pro senzorický komfort je vytvořena analogicky k termofyziologickému komfortu:

$$TK_T = \alpha_1 i_{mt} + \alpha_2 F_i + \alpha_3 K_d + \alpha_4 \beta_T + \alpha_5 K_f + \beta$$

i_{mt}	index prostupu vodních par
F_i	schopnost krátkodobého přijímání par [%]
K_d	hodnota vyrovnávání vlhkosti
β_T	hodnota vyrovnávání teploty [K/min]
K_f	pufrační veličina
F_l	propustnost vlhkosti [g/m ² /hmba]
R_{et}	tepelná izolace vlhké textilie [m ² /mbar/W]

[1]

Konstanty:

$$\alpha_1 = -5,640 \qquad \alpha_4 = -4,512$$

$$\alpha_2 = -0,375 \qquad \alpha_5 = -4,532$$

$$\alpha_3 = -1,587 \qquad \beta = 11,553$$

Veličiny TK_H a TK_T se hodnotí na stupnici od 1 do 6.

1 = velmi dobré

6 = nedostatečné

$$TK_{\text{celkový}} = 0,34 \cdot TK_H + 0,66 \cdot TK_T \qquad [1]$$

1.2.2. Hodnocení termofyziologického komfortu

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla (ten umožňuje hodnotit termofyziologický komfort věrněji). Jedná se o měření založené na použití tzv. „skin modelu“ tedy modelu lidské pokožky.

Termofyziologický komfort textilií lze zjednodušeně charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu. Mimořádně důležitou úlohu má výparný odpor při ochlazování těla odpařováním potu z povrchu pokožky. Místo parametru paropropustnost můžeme zde použít parametr výparný odpor, který u měření simulujících reálné přenosové jevy při nošení oděvu přímo charakterizují tepelné účinky vnímané pokožkou vznikající v důsledku odparu potu. [1]

1.2.2.1. Zjišťování relativní propustnosti vodních par Gravimetrickou metodou

Měření spočívá v upevnění kruhového vzorku textilie na lehkou misku kruhového tvaru ($S=30\text{cm}^2$) obsahující silikagel. Poté se zváží misky se vzorkem (G_0) před expozicí v klimatizační skříni a zvážení (G_1) a po 6 hodinové expozici (po uplynutí doby t). Ze získaných údajů se vypočítá relativní paropropustnost P_{rel} , nebo absolutní paropropustnost

P_{abs} . Provádí se přímá a invertovaná metoda. Nevýhodou těchto metod je jejich zdoluhavost a nízká přesnost. [1]

$$\text{Vzorec pro výpočet } P_{rel}: \quad P_{rel} = \frac{(G_1 - G_0)}{G_0} [\%] \quad [1]$$

$$\text{Vzorec pro výpočet } P_{abs}: \quad P_{abs} = \frac{(G_1 - G_0)}{(S \times t)} [g/m^2/24 \text{ hod}] \quad [1]$$

1.2.2.2. Zjišťování relativní propustnosti vodních par metodou DREO

Metoda navržena pány Farnworth, Van Beest a Dolhan. Vzorek je upevněn na podložce mezi dvěma polopropustnými vrstvami. Pod spodní vrstvou je voda a přes vrchní vrstvu proudí suchý vzduch. Spodní vrstva chrání a odděluje vzorek od vodní hladiny a vrchní vrstva před průnikem vzduchu. Ztráta vody je určována odečítáním na stupnici skleněné kapiláry. [1]

1.2.2.3. Zjišťování relativní propustnosti vodních par metodou SKIN MODEL

Základem přístroje je vyhřívaná a zvlhčovaná porézní deska označovaná jako „model kůže“ sloužící k simulaci procesů přenosu tepla a hmoty, který prochází lidskou pokožkou a okolím. Měření zahrnující jeden nebo oba přenosy se mohou provádět buď separátně nebo při měnících se vnějších podmínkách, zahrnujících kombinaci různých teplot, relativní vlhkosti a rychlost proudění vzduchu. Naměřené hodnoty mohou tedy odpovídat rozdílným ustáleným i proměnlivým okolním podmínkám nošení oděvu. [1]

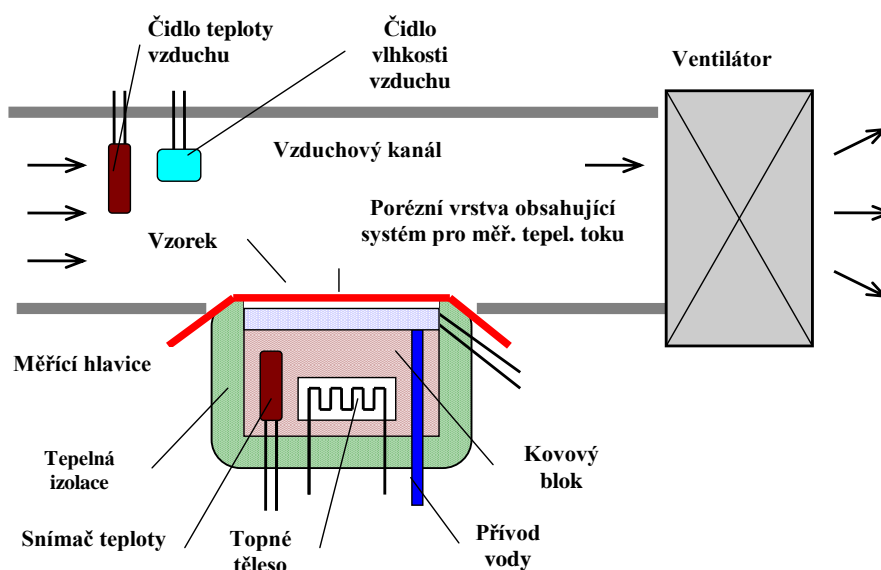
1.2.2.4. Zjišťování relativní propustnosti vodních par pomocí přístroje PERMETEST

Podstatou zkoušky je přímé měření tepelného toku procházejícího povrchem tepelného modelu lidské pokožky – skin modelu. Povrch modelu je porézní a je zavlhčován, čímž se simuluje funkce ochlazování pocením. Na tento povrch je přiložen přes separační fólii měřený vzorek a jeho vnější strana je ofukována.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice (skin model) pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržován na teplotě okolního vzduchu ($20 - 23^{\circ}\text{C}$), který je do přístroje nasáván. Tím jsou zajištěny izometrické podmínky měření. Při měření se pak vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která přes separační fólii prochází vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté znovu se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelné toky. [2]

Při měření tepelného odporu textilního vzorku je suchá měřicí hlavice udržována na teplotě o $10\text{-}20^{\circ}\text{C}$ vyšší než je teplota okolního vzduchu. Tepelný tok odváděný ze vzorku konvekcí do okolního proudícího vzduchu je opět registrován.

Velkou výhodou přístroje Permetest je krátká doba měření a možnost provádět měření v běžných klimatických podmínkách. [2]



Obrázek č. 1 - Schéma přístroje Permetest [1]

Hodnocení propustnosti textilií pro vodní páry poté probíhá za pomoci výparného odporu – Ret [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. Čím je hodnota Ret nižší tím je propustnost textilie vyšší. Níže uvedená tabulka udává i hodnoty odpovídající dříve používaným jednotkám $\text{g}/\text{m}^2\cdot 24$ hod měřené podle ASTM E96-BEa. [1]

Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

- **Stanovení relativní paropropustnosti pro vodní páry**

Přístroj měří relativní paropropustnost textilií pro vodní páry p [%], což je nenormalizovaný, ale velmi praktický parametr, kde 100% paropropustnost představuje tepelný tok q_o vyvozený odparem z volné vodní hladiny o stejném průměru jako má měřený vzorek. Zakrytím hladiny měřeným vzorkem se pak tepelný tok sníží na hodnotu q_v a platí:

$$p = \frac{q_v}{q_o} \cdot 100 [\%] \quad [1]$$

- **Stanovení výparného odporu**

$$R_{et} = \frac{(P_m - P_a)}{(q_v - q_o)} \quad [\text{Pa} \cdot \text{m}^2 / \text{W}]$$

P_m ... nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]

P_a ... parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa] [1]

Ret < 6	Velmi dobrá	Nad 20 000 g/m ² ·24 hod
Ret 6 – 13	Dobrá	20 000 - 9000 g/m ² ·24 hod
Ret 13 – 20	Uspokojivá	9000 – 5000 g/m ² ·24 hod
Ret 20 <	Neuspokojivá	Pod 5000 g/m ² ·24 hod

Tabulka č. 1 – Tabulka pro převod Ret hodnot do dříve měřených jednotek [1]

1.2.2.5. Hodnocení hydrostatické odolnosti

Hydrostatickou odolností, nebo-li výškou vodního sloupce, se označuje do jaké míry je polopropustná textilie schopná odolávat tlaku kapalné vlhkosti z okolí. Tento tlak se udává v konvenčních centimetrech. Čím vyšší je naměřená hodnota, tím lépe je materiál schopen odolávat působení vody. [1]

Schopnost polopropustných textilií odolávat kapalné vlhkosti z okolí se již stalo nedílnou součástí jejich vlastností. Ovšem je velice důležité, jak velkému hydrostatickému tlaku je daná textilie schopná odolávat. Výška vodního sloupce je úměrná prostupu vodních par skrz laminát.

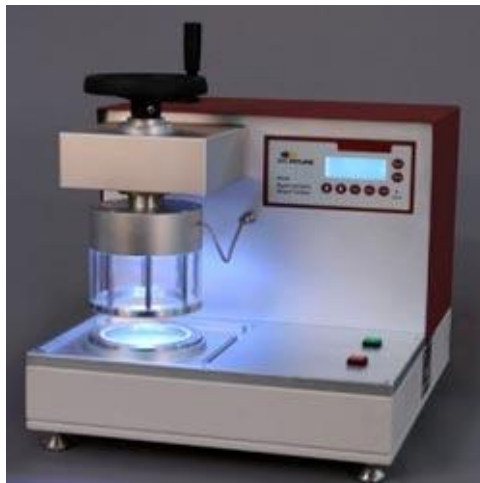
Existuje několik různých přístrojů pro měření hydrostatické odolnosti, avšak pro toto zkoumání jsme se rozhodli použít přístroj M018 (M018 HYDROSTATIC HEAD TESTER, SDL/ATLAS) a pro porovnání výsledků jsme využili prototyp přístroje pro měření vodního sloupce, který sestrojil Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

▪ M018 Hydrostatic head tester

Přístroj M018 je schopen stanovit odolnost proti průniku vody za pomoci metody zatížení materiálu hydrostatickým tlakem, kterou popisuje norma ISO 811. Princip zkoušky spočívá ve vystavení vzorku o velikosti 100cm^2 stále vzrůstajícímu tlaku vody za standardních podmínek, až dojde k průniku ve třech místech. Tlak, při kterém dojde k průniku vody ve třetím místě je zaznamenán. Voda, která přijde do kontaktu se vzorkem by měla mít teplotu $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Pokud by byla použita voda o vyšší teplotě, výsledné hodnoty by mohly být nižší. Rychlost nárůstu tlaku vody probíhá při standardní rychlosti $10 \pm 0,5 \text{ cm H}_2\text{O}/\text{min}$ nebo při nejvyšší tedy $60 \pm 3 \text{ cm H}_2\text{O}/\text{min}$. Přístroj měří míru vodního sloupce tedy v $\text{cm H}_2\text{O}/\text{min}$ a spolu s časem a rychlostí měření tyto hodnoty udává na displeji, který je jeho součástí. [3]

$$1\text{cm H}_2\text{O} = 1\text{mbar}$$

$$1\text{cm H}_2\text{O} = 98,066\text{Pa} \text{ tedy } 1\text{mbar} = 100\text{Pa} \quad [3]$$



Obrázek č. 2 – záznam přístroje M018 [4]

▪ **Prototyp pro stanovení hydrostatické odolnosti**

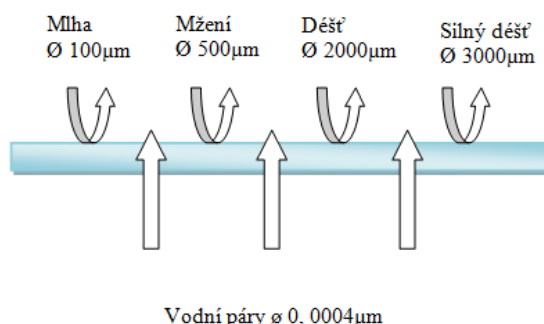
Tento přístroj byl sestaven panem Prof. L. Hesem a to především za účelem zrychlení a zjednodušení celého procesu měření hydrostatické odolnosti. Důvodem jeho sestavení byla myšlenka, že díky vědě a neustálému vývoji se materiály stále vylepšují. Tedy i jejich schopnost odolávat okolním vlivům je lepší a lepší, což má za následek zbytečně zdoluhavé a drahé testování. Možnost rychlejšího testování potom popisuje v článku Fast testing of hydrostatic resistance of semi-permeable laminated fabrics, kde navazuje na bakalářskou práci J. Lečbychové, která zjišťovala, zda má rychlejší způsob testování polopropustných membrán a zátěrů výrazný vliv na konečný výsledek. [5]

Přístroj dle prof. Hese je přístroj několikrát menší a lehčí než M018. Uchycení vzorku je také 100cm² a použita je tlaková voda z vodovodního řádu. Ovládání nárůstu tlaku je manuální a jeho kontrola se provádí na stupnici měřícího zařízení přímo na přístroji.

1.3. Charakteristika polopropustných textilií a typy membrán

Jak již samotný název napovídá, jedná se o textilie, které mají schopnost propouštět vlhkost, produkovanou organismem ve formě vodní páry a současně zabraňují průchodu vlhkosti z okolního prostředí směrem k pokožce. Další velice účinnou vlastností je schopnost odolávat větru, čímž se snižují tepelné ztráty konvekcí (prouděním). [1]

Základní princip spočívá ve velikosti jednotlivých částic kapaliny, díky čemuž je membrána schopná fungovat jako určitý filtr. Tedy, je schopná odvádět pot od pokožky a zároveň zadržet různorodé formy deště tak, aby se nedostaly k tělu právě díky různým velikostem jejich jednotlivých částic. Vodní páry, které je potřeba odvádět od těla pryč, mají průměr jednotlivých částic $0,0004\mu\text{m}$. Což je několikanásobně menší než déšť ($\varnothing 2000\mu\text{m}$) nebo třeba mlha ($\varnothing 100\mu\text{m}$). Tuto situaci znázorňuje následující obrázek.



Obrázek č. 3 - Schéma polopropustné textilie

1.3.1. Základní rozdělení polopropustných textilií [1]:

- Tkaniny s hustou dostavou, která dosahuje až 7000 nití/cm a velikost pórů se pohybuje mezi 10 – 3μm.
- Povrstvené tkaniny, které se dělí na:
 - a. Mikroporézní vrstvu o velikosti pórů v rozmezí 2 – 3 μm.
 - b. Koagulační techniku, tedy srážení, které může probíhat za sucha nebo za vlhka.
 - c. Hydrofilní povrstvení o velikosti pórů menší než 0,001 μm.
- Laminování za pomoci membrán, které se vyrábí jako samostatné folie a následně se laminují na základní materiál.

1.3.2. Typy polopropustných membrán

Jedná se o velice tenký film vyrobený z polymerních materiálů. Membrána má tu schopnost, že dokáže odolávat venkovním povětrnostním vlivům, ale zároveň propouštět vodní páry směrem ven od pokožky. To vše funguje na základě velikosti jednotlivých částic (pórů), jak již bylo popsáno v předchozím odstavci. Existují dva základní typy těchto polopropustných membrán, které budou níže podrobněji popsány.

Membrány se laminují k pleteninám nebo tkaninám, protože membrána samotná není vhodná k dalšímu zpracování. Zde také existuje několik způsobů laminace, které budou dále stručně popsány.

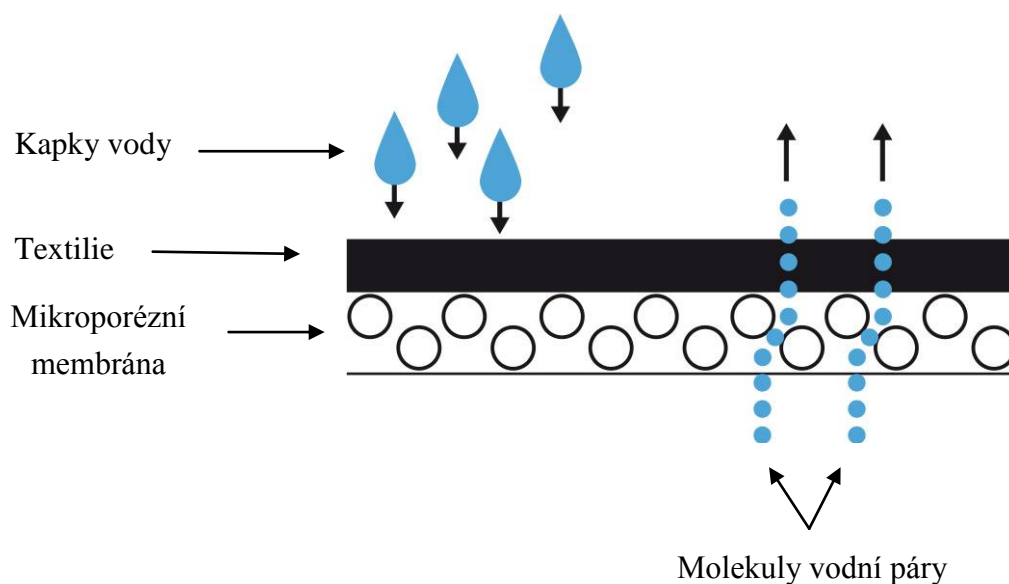
• Mikroporézní membrány

Mikroporézní membrány se vyrábějí z rozpínavého PTFE (polyethylentereftalát). Jedná se o tenký film, který obsahuje až 1,4 miliard pórů/cm² kde velikost jednoho póru je 0,1-3μm. Mikroporézní membrány jsou označovány také jako hydrofobní, protože molekuly vody pouze prostupují membránou na základě rozdílů teplot a tlaků mezi okolím a vnitřkem oděvu. U výrobků s těmito membránami po čase může docházet k zanášení pórů různými nečistotami, jako například tuk nebo oleje. To vede ke snížení voděodolnosti a prostupu vodních par, což může mít za následek i zničení membrány. Z tohoto důvodu se na ně ještě aplikují hydrofobní DWR přípravky, které těmto nedostatkům zabraňují a navíc zvyšují voděodolnost. [1,7]

U Hydrofobních membrán mechanismus prostupu vodních par závisí na porézní struktuře materiálů. Rozlišujeme následující typy pórů:

- I. Otevřený typ – mechanismus pórů je zanedbatelný, protože vodní pára proniká přes póry. [8]
- II. Polootevřený nebo polozavřený typ – mechanismus rozšiřování je značný, molekuly vody musí proniknout do tenké vrstvy, která odděluje jednotlivé mikropóry. [8]

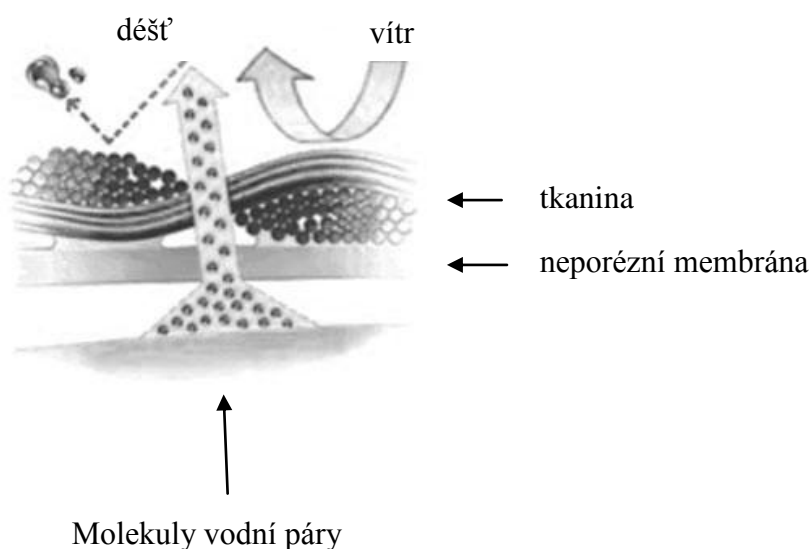
Schéma prostupu vodních par skrz mikroporézní membránu je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek č. 4 – Schéma mikroporézní membrány

- **Neporézní membrány**

Jedná se také o velice tenký film, který je ale vyrobený z chemicky modifikovaného polyesteru nebo polyuretanu. Velikost pórů je menší než $0,001\mu\text{m}$ jde ale o póry mezimolekulární, které umožňují prostup molekulám vodní páry, ale zabraňují pronikání kapek vody. Tyto membrány mají pevnou, kompaktní strukturu a poskytují přenos poměrně velkého množství vodní páry na základě molekulárního mechanismu (absorpce – difúze – desorpce). Tedy absorbují vlhkost na jedné straně a na druhé straně probíhá odpařování. Jejich velkou předností je také hladký povrch, takže nedochází k již zmíněnému zanášení pórů nečistotami. Membrány jsou označovány také jako hydrofilní.[1,8]



Obrázek č. 5 – Schéma prostupu vlhkosti neporézní membránou

1.4. Způsoby spojování membrán s textilií (laminování)

Protože zpracovávání samotných membrán je velice obtížné, spojují se s textilním nosičem. Při této metodě spojování nesmí dojít ke zhoršení klasických textilních vlastností a zároveň musí být dosaženo zlepšení funkčních činností. Způsoby laminace jsou čtyři a každý je závislý na ceně, funkčních požadavcích a postupu výroby. Dále také rozlišujeme tři způsoby konstrukčního řešení membrán. [8]

Způsob laminování [8]:

- Spojení membrány s textilním materiálem prostřednictvím bodového nánosu pasty a šablonou na kalandru.
- Spojení membrány s textilním materiálem s použitím PU lepidla střední viskozity mezi dvěma válci.
- Ultrazvukem
- Kaširováním

Konstrukční provedení membrán:

- Membrána laminovaná na vrchový materiál nebo podšívku (dvouvrstvý laminát). V tomto případě je membrána přichycena na rubní stranu vrchového materiálu a jako nezávislá vrstva je využita podšívka. Nebo opačně, membrána je připevněna k lící straně podšívky a jako nezávislá vrstva je použita horní vrstva. Účelem nezávislé vrstvy je chránit membránu před případným poškozením. Tento způsob se uplatňuje při výrobě ochranného a sportovního oblečení. [8]
- Konstrukce volně vložené vrstvy (Z – liner)
Představuje laminování membrány na lehký textilní materiál jako je pletenina nebo netkaná textilie. Membrána je volně vložena mezi podšívku a vrchový materiál. Výhodou této metody je velice dobrý splývavost a měkký omak. Tato metoda je vhodná pro výrobky s nízkým stupněm zátěže, spíše pro městské využití. [8]
- Laminování membrány na vrchový materiál a podšívku (třívrstvý laminát)
Jedná se o spojení vrchového materiálu, membrány i podšívky v jeden kompaktní kus. [8]

1.5. Firma Directalpine

Společnost Directalpine, s.r.o. je ryze českou firmou se sídlem v Liberci, která vznikla v roce 1997. Její dva zakladatele spojovala záliba outdoorových sportů a absence oblečení k jejich komfortnějšímu provozování. Díky tomu můžeme u výrobků této firmy pozorovat například kapsy, které jsou orientovány tak, aby se daly dobře využívat i ve chvíli, kdy na sobě máme sedák či krosnu. Od svého založení firma neustále roste a své stálé odběratele ze Švýcarska, Rakouska a Německa rozšiřuje o exotičtější země jako je Japonsko či Korea. Posledním úspěchem je výhra tendru ve výběrovém řízení pro dodávku ochranné druhé vrstvy oblečení profesionálním členům Horské služby v ČR. I přes tyto úspěchy se firma Directalpine stále považuje za „rodinnou firmu“ díky čemuž je schopná se do detailu věnovat každému produktu. [9]

2. PRAKTICKÁ ČÁST

V této části práce jsou nejprve popsány vzorky, které byly opatřeny u firmy Directapline. Poté následuje samotné měření vzorků, které je rozděleno do jakýchsi tří fází. V té první fázi jsou vzorky podrobeny klasickému měření paropropustnosti, tedy „za sucha“. V druhé fázi práce jsou vzorky proměřovány také na přístroji Permetest, avšak tentokrát byla zvolena metoda „za vlhka“. Zde jsou pozorovány změny, které nastanou při smočení textilií. Třetí fáze praktické části se zabývá zkoumáním hydrostatické odolnosti vzorků a to třemi způsoby: Nejprve za standardního nárůstu tlaku 60 cmH₂O/min, který je dán normou ISO 811 na přístroji M018. Poté při nárůstu nevyššího možného tlaku (500 cmH₂O/min), také na přístroji M018. Při třetím způsobu měření výšky vodního sloupce byl využit prototyp pana profesora Hese.

V závěru práce jsou všechna měření statisticky vyhodnocena a porovnána. Dále jsou pak výsledky orientovány pro možnost firemního využití v marketingové strategii. Také je zde uvažována možnost využívání přístrojů permetest a prototypu pro měření vodního sloupce přímo firmou Directalpine, jako levnější varianta pro testování svých výrobků.

2.1. Popis vzorků

Jak již bylo řečeno, vzorky jsou opatřeny od firmy Directalpine a jedná se o hustě dostavené polopropustné textilie s polopropustnou membránou. Firma z těchto materiálů šije především bundy a vesty. Společnost si nepřála zveřejnit názvy vzorků, proto jsou označeny jako vzorek 1, 2, 3.

2.1.1. Vzorek č. 1

Materiál sendvičové konstrukce od taiwanské firmy Carol Textile co. ltd. Jedná se o obousměrně elastický třívrstvý laminát. Svrchní (lící) strana je tkaná v plátňové vazbě a je zde použita vodoodpudivou úprava DWR (durable water repellency finish) a její velikou výhodou je schopnost odolávání v oděru. Díky této vlastnosti dokáže oděv vzdorovat vodě i ve více zatížených oblastech, jako jsou například ramena, kde se materiál nejrychleji opotřebovává a to např. díky popruhům od batohu. [9] Spodní (rubní) strana sestává ze zátažné jednolící pleteniny s fleece úpravou. Prodávce udává tyto hodnoty 10 000 g/m²/24hod a 10 000 mm H₂O.

Polyuretanová membrána 4way tex byla navržena speciálně pro firmu Directalpine a je její ochrannou známkou. Ke spojení těchto vrstev byl použit bodový způsob laminace s polyuretanovým pojídkem. [10.11.12]

Složení [11]:

Horní vrstva: 88% Polyester; 7% Polyuretan; 5% Elastan

Membrána: 100% Polyuretan

Podšívka: 100% Polyester

Hmotnost [11]:

$275\text{g/m}^2 \pm 5\%$

2.1.2. Vzorek č. 2

Stejně jako u předchozího vzorku, jde o materiál sendvičové konstrukce. Výrobce je japonská společnost Toray Industries, Inc. Na první pohled se zdá stejný jako vzorek č. 1 ale jeho struktura i složení je trochu odlišná a i jeho vlastnosti nejsou srovnatelné. Horní vrstva sestává z 3-vazného kepru. Spodní vrstva, stejně jako u předchozího vzorku, je zátažná jednolící pletenina s fleecovou úpravou. Film z polyuretanu napovídá, že se jedná o neporézní membránu. Prodejce udává tyto hodnoty $10\,000\text{ g/m}^2/24\text{hod}$ a $10\,000\text{ mm H}_2\text{O}$. Tyto tři vrstvy byly spojeny, jako předchozí vzorek, bodovým způsobem laminace s využitím polyuretanového pojídla. [11, 12]

Složení [11]:

Horní vrstva: 100% Polyester

Membrána: 100% Polyuretan

Podšívka: 100% Polyester

Hmotnost [11]:

$300\text{g/m}^2 \pm 5\%$

2.1.3. Vzorek č. 3

Také třetí vzorek je třívrstvý laminát, hard shell od japonského výrobce Ammaterace. Horní vrstva vazbou připomíná ripstop, ale po bližším prozkoumání můžeme pozorovat velice řídkou vazbu na to, aby fungovala jako ripstop. Spodní vrstva, osnovní pletenina, konkrétně jde o spojení trikotu a sukna, tedy vazba šarmé. Polyuretanová neporézní membrána je s okolními vrstvami spojena bodově za pomoci polyuretanového pojidla. Prodejce udává tyto hodnoty 20 000 g/m²/24hod a 20 000 mm H₂O. [11, 12]

Složení [11]:

Horní vrstva: 100% Polyamid 6.6

Membrána: 100% Polyuretan

Podšívka: 100% Polyester

Hmotnost [11]:

90g/m² ± 5%

2.2. Měření paropropustnosti textilií

Měření probíhalo v laboratoři na katedře hodnocení textilií na přístroji Permetest, který je blíže popsán v teoretické části práce. Použity byly vzorky o velikosti 15x15cm a do přístroje byly vkládány bez nečistot, skladů a lící stranou vzhůru. Nejprve byl přístroj kalibrován podle referenční textilie, která je z hydrofobní polypropylenové příze a je standardní součástí P-testu. Poté je prováděno samotné měření, které probíhá nejprve bez vzorku a potom se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelný tok.

Přístroj měří propustnost pro vodní páry (paropropustnost) P [%] a výparný odpor [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}^{-1}$]. Platí, že čím je hodnota výparného odporu nižší, tím je propustnost pro vodní páry vyšší. Dále je zde uveden variační koeficient a směrodatná odchylka, která znázorňuje přesnost měření. Tedy čím je hodnota nižší, tím bylo měření přesnější.

$$p = \frac{q_v}{q_o} \cdot 100 [\%] \quad [1]$$

q_o ... tepelný tok procházející měřicí hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem

q_v ... tepelný tok procházející měřicí hlavicí zakrytou měřeným vzorkem

Měření probíhalo za těchto klimatických podmínek:

Teplota vzduchu $23\pm 1^\circ\text{C}$

Vlhkost vzduchu $35\pm 3\%$

2.2.1. Měření paropropustnosti textilií za sucha

V tabulce č. 2 jsou uvedeny jednotlivé hodnoty, které byly u vzorků naměřeny. Měření probíhalo standardním výše popsaným způsobem.

Naměřené hodnoty všech vzorků při měření za sucha						
		1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
Vzorek č. 1	Paropropustnost [%]	18,6	19,3	16,9	17,3	18,2
	Výparný odpor [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}-1$]	28	26,4	32,5	29,8	27,4
Vzorek č. 2	Paropropustnost [%]	14,8	13,5	14	14,6	14,9
	Výparný odpor [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}-1$]	33,2	35,7	36,1	33,6	32,9
Vzorek č. 3	Paropropustnost [%]	43,5	42,8	44,4	43	44,1
	Výparný odpor [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}-1$]	5,3	5,7	5,5	5,6	5,5

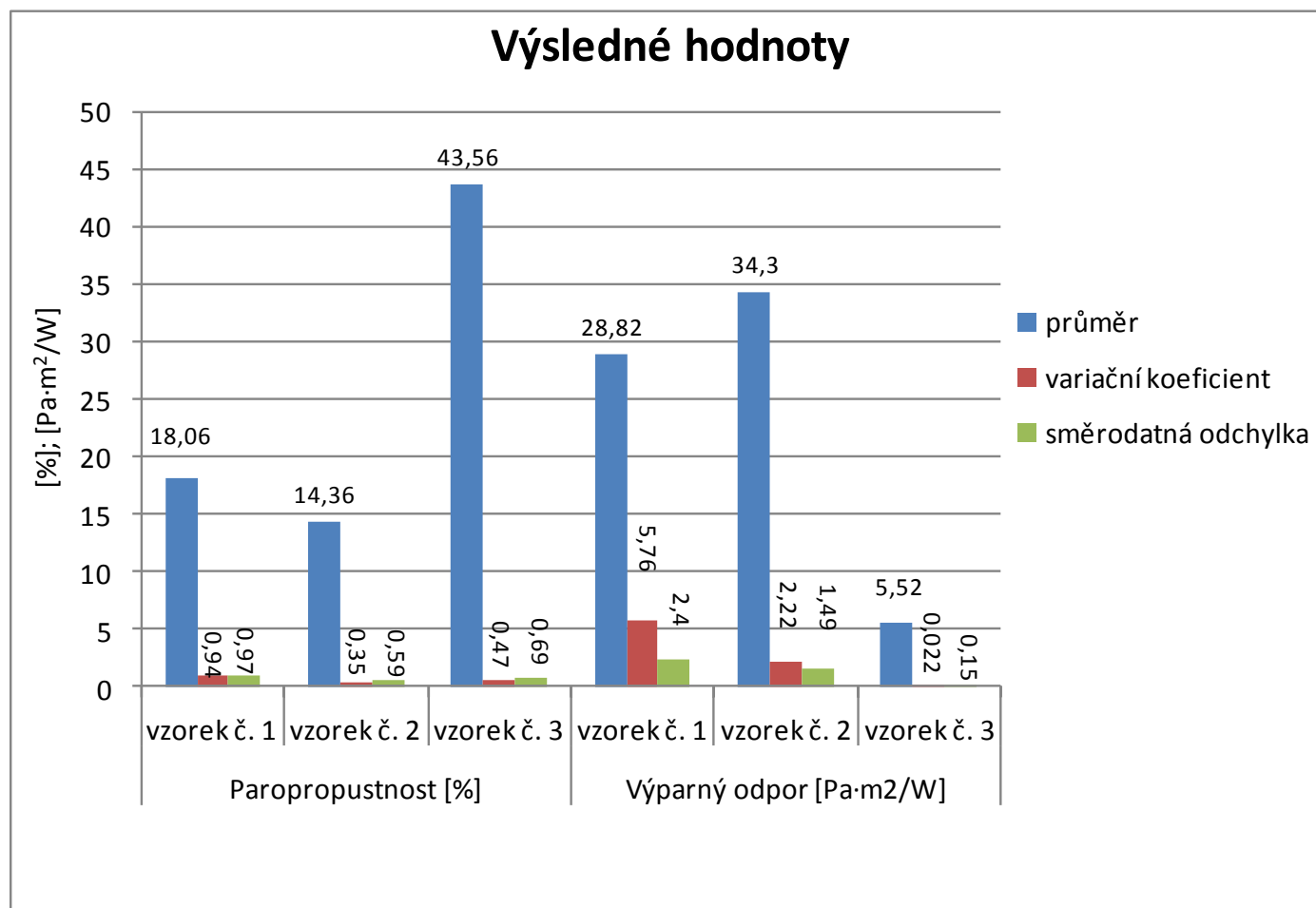
Tabulka č. 2 – Naměřené hodnoty vzorků při měření za sucha

Výsledné hodnoty

V tabulce č. 3 jsou uvedeny statistické výsledky tohoto měření, které jsou následně vyobrazeny v grafu č. 1. Nejlepší hodnoty můžeme jasně pozorovat u vzorku č. 3 s průměrným výparným odporem $5,52 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ a průměrnou paropropustností 43,56%, což je velmi dobré. Naopak nejhorší paropropustnost má vzorek č. 2 s průměrnou hodnotou 14,36%. Směrodatná odchylka nám díky nízkým hodnotám prozrazuje, že měření bylo poměrně přesné. I na základě toho jsme se rozhodli provádět pouze 5 měření.

Výsledné hodnoty				
	vzorek	průměr	variační koeficient	směrodatná odchylka
Paropropustnost [%]	vzorek č. 1	18,06	0,94	0,97
	vzorek č. 2	14,36	0,35	0,59
	vzorek č. 3	43,56	0,47	0,69
Výparný odpor [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]	vzorek č. 1	28,82	5,76	2,4
	vzorek č. 2	34,3	2,22	1,49
	vzorek č. 3	5,52	0,022	0,15

Tabulka č. 3 – souhrnná tabulka všech vzorků a jejich statistických hodnot



Graf č. 1 – Souhrnný graf statistických výsledků z měření paropropustnosti za sucha

2.2.2. Měření paropropustnosti textilií za vlhka

Měření za vlhka se provádí podobně jako za sucha, jen s tím rozdílem, že jednotlivé vzorky byly zavlhčovány. To se provádělo v ploché nádobě ve směsi vody se smáčedlem (Spolion 8), který umožňuje důkladný prostup směsi do textilie. Před tímto procesem a poté před každým měřením byly vzorky zváženy na elektronických vahách. Samotné měření pak probíhalo takto: Zavlhčený a zvážený vzorek byl proměřen standardně jako při měření za sucha, poté byl vyjmut, znovu zvážen a znovu proměřen, ale tentokrát byla mezi měřicí hlavici a vlhký vzorek vložena nepropustná folie. Tento postup byl proveden celkem čtyři krát a mezi každým jednotlivým měřením byl vzorek oboustranně osušen sacím papírem. Dále byly všechny vzorky vysušeny v sušičce po dobu 30minut při 70°C abychom zjistili jejich čistou hmotnost bez působení vlhkosti.

Měření probíhalo za těchto klimatických podmínek:

Teplota vzduchu: 22±1°C

Vlhkost vzduchu: 37±2%

V následující tabulce č. 4 jsou zobrazeny naměřené hodnoty při měření za vlhka. Udávána je vždy nejprve hodnota naměřená bez folie, a poté s folií. U každého měření je zaznamenán úbytek hmotnosti a stupeň zavlhčení jednotlivých vzorků (U), který byl dodatečně vypočítán podle následujícího vzorce:

$$U = \frac{(m_v - m_s)}{m_s} * 100 [\%]$$

[13]

U... hmotnostní přívažek [%]

m_v ... hmotnost vlhkého vzorku [kg]

m_s ... hmotnost suchého vzorku [kg]

Hmotnost vysušených vzorků:

- Vzorek č. 1... 6,85g
- Vzorek č. 2... 7,30g
- Vzorek č. 3... 2, 24g

Naměřené hodnoty při měření paropropustnosti za vlhka									
		1. měření		2. měření		3. měření		4. měření	
		bez folie	s folií	bez folie	s folií	bez folie	s folií	bez folie	s folií
Vzorek č. 1	Paropropustnost [%]	85	77,9	83,2	43,2	45,5	35	40,2	30,4
	Výparný odpor [Pa·m ² /W]	1,1	1,8	1,3	8,3	8	12,5	9,6	14,9
	Hmotnost [%]	25,96	25,23	19,3	18,74	12,95	12,29	9,28	9,06
	Hmotnostní přívažek [%]	278,9	268,3	181,8	173,6	89,1	79,4	35,5	32,3
Vzorek č. 2	Paropropustnost [%]	85,6	72,1	51,1	42,4	41,2	35	40,7	30,1
	Výparný odpor [Pa·m ² /W]	1,3	2,9	7,2	10,2	10,7	13,8	11,6	17,2
	Hmotnost [%]	27,98	27,59	15,24	14,86	12,76	12,53	9,94	9,75
	Hmotnostní přívažek [%]	283,3	278	108,8	103,6	74,8	71,6	36,2	33,6
Vzorek č. 3	Paropropustnost [%]	97,1	93	94	88,5	90,6	82,4	85,5	78,5
	Výparný odpor [Pa·m ² /W]	0,2	0,5	0,4	0,8	1,1	1,4	1,9	2,4
	Hmotnost [%]	6,01	5,54	4,5	4,28	3,71	3,48	2,92	2,64
	Hmotnostní přívažek [%]	168,3	147,3	100,9	91,1	65,6	55,4	30,4	17,9

Tabulka č. 4 – Souhrn všech naměřených hodnot za vlhka

Následující Grafy 2 a 3 jasně znázorňují vliv vlhkosti na paropropustnost a výparný odpor. Jak nám grafy ukazují, při zvyšování vlhkosti relativní paropropustnost textilie roste a její výparný odpor klesá i přes předpoklad, že by tomu mělo být naopak v důsledku bobtnání vláken. Důvod, je následující: Textilie po zavlhčení absorbuje tekutinu, která se následně z povrchu odpařuje. Při měření na Permetestu je registrován celkový relativní chladicí tok q_{celk} (neboli relativní paropropustnost) který se v tomto případě skládá ze dvou částí. První, odpar z měřicí hlavice Permetestu a druhá, odpar z povrchu zavlhčené textilie. [14] Celkový relativní chladicí tok je pak dán vztahem:

$$q_{celk} = q_{pokožka} + q_{povrch\ textilie} \quad [15]$$

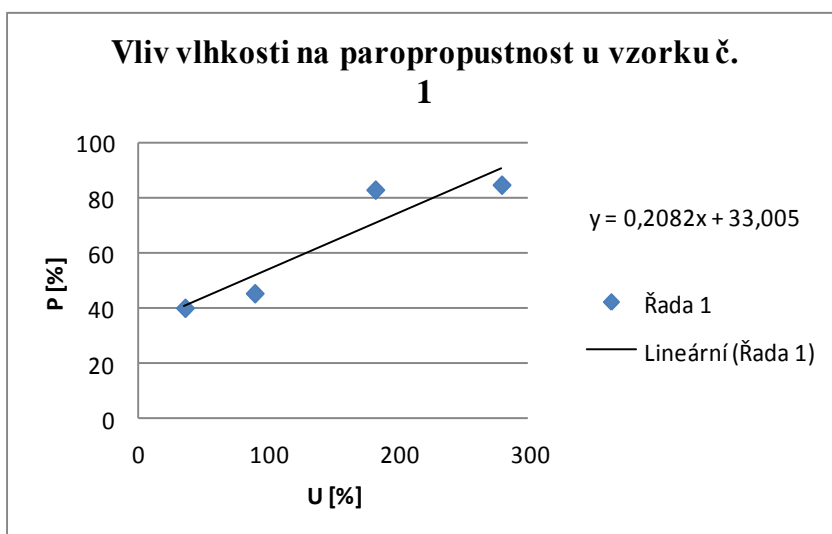
Dle původního návrhu prof. Hese [15], vložením nepropustné folie mezi měřicí hlavici a vlhký vzorek se hodnota $q_{pokožka}$ v tomto případě stane nulovou a bude platit následující vztah:

$$q_{celk} = q_{povrch\ textilie}, \quad [15]$$

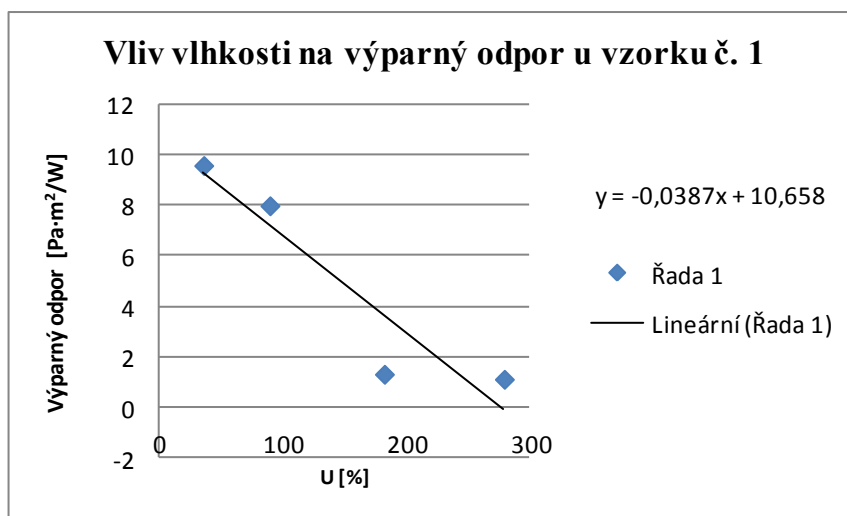
čímž zjistíme hodnotu chladicího toku z povrchu textilie $q_{povrch\ textilie}$. Nakonec získáme

$$q_{pokožka} = q_{celk} - q_{povrch\ textilie} \quad [15]$$

Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

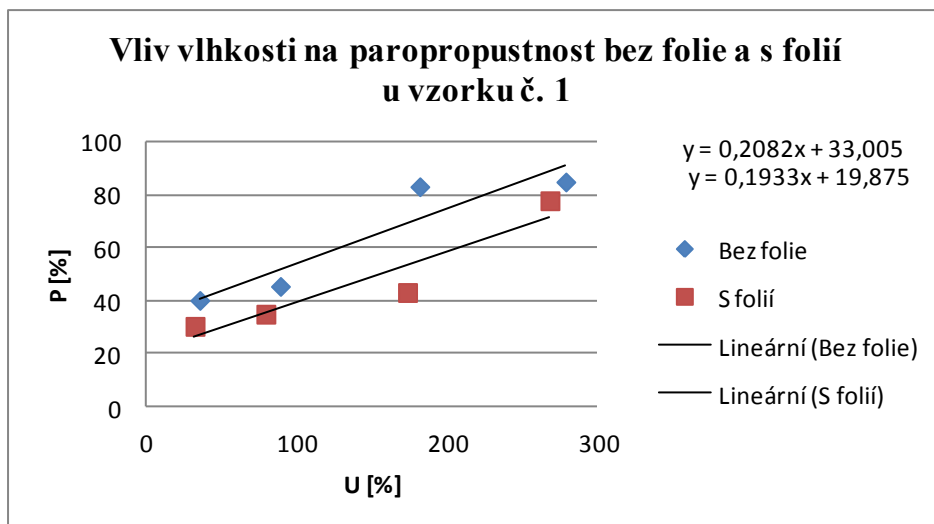


Graf č. 2 – Vliv vlhkosti na paropropustnost vzorku č. 1

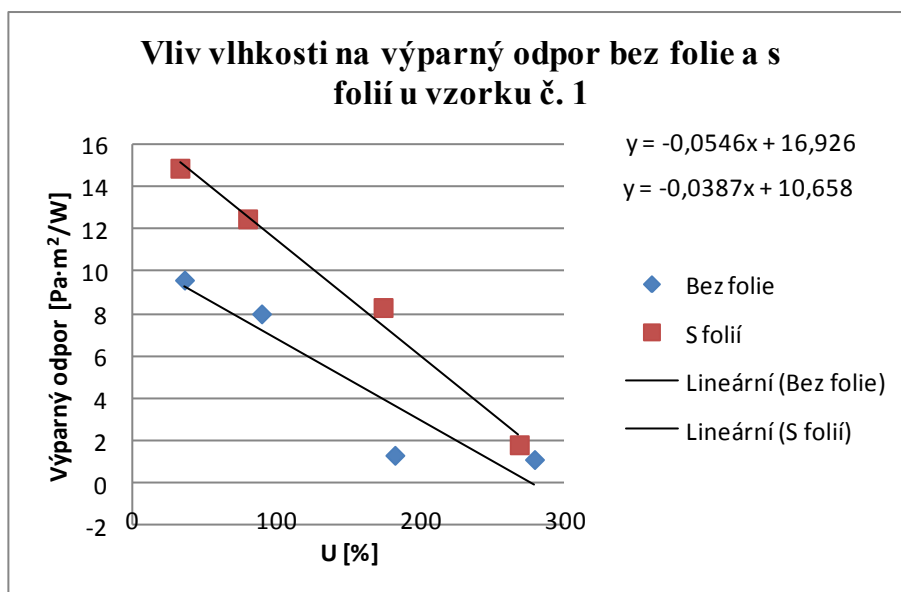


Graf č. 3 – Vliv vlhkosti na výparný odpor u vzorku č. 1

Grafy 4 a 5 porovnávají, jaký vliv má vlhkost na paropropustnost a výparný odpor, a jak se mění po vložení nepropustné polymerní folie mezi měřicí hlavici a testovaný vzorek. U grafu č. 7 můžeme jasně pozorovat celkovou paropropustnost (měření bez folie) a paropropustnost částečnou, tedy pouze z textilie, které bylo dosaženo právě díky zakrytí měřicí hlavice polymerní folií. Na základě tohoto měření se předpokládalo, že paropropustnost z povrchu textilie bude nižší, což tento graf potvrzuje. U grafu č. 8 kde je znázorněn výparný odpor, je tomu pak právě naopak.



Graf č. 4 – Porovnání vlivu vlhkosti na paropropustnost s nepropustnou folií a bez folie u vzorku číslo 1



Graf č. 5 – Porovnání vlivu vlhkosti na výparný odpor s nepropustnou folií a bez folie u vzorku číslo 1

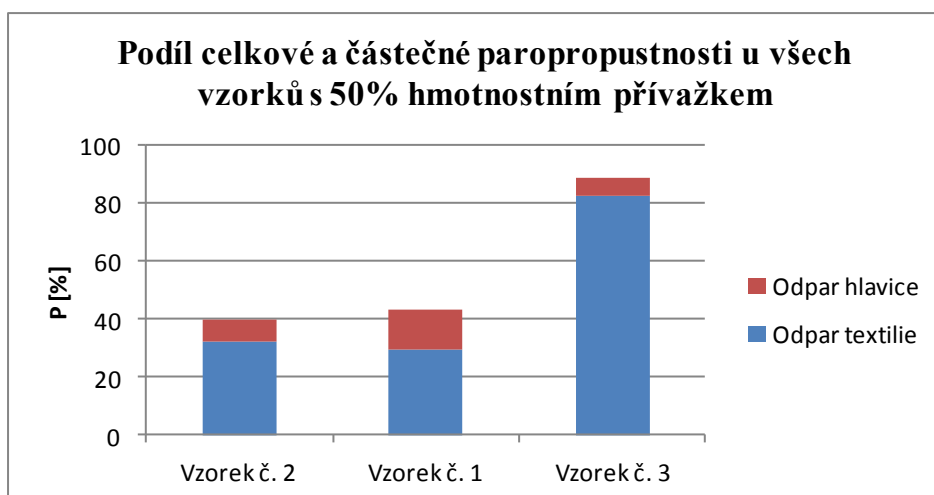
Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

Tento graf č. 6 názorně zobrazuje celkovou paropropustnost smočených vzorků při hmotnostním přívažku 50%, která byla vypočtena z křivky regrese. Je zřejmé, že nevyšší paropropustnost má vzorek číslo 3 a to především díky nižší hustotě dostavy vrchového materiálu.



Graf č. 6 – Porovnání celkové paropropustnosti všech vzorků za vlhka s 50% hmotnostním přívažkem

U grafu č. 7 můžeme pozorovat, jakou část z celkové paropropustnosti tvoří odpar pouze z textilie, kterého bylo dosaženo právě zakrytím měřicí hlavice nepropustnou polymerní folií. Největší podíl odparu z textilie na celkové paropropustnosti má vzorek č. 3. Největší podíl odparu z hlavice na celkové paropropustnosti má vzorek číslo 1. Pro porovnání výsledků byla z křivky regrese vypočtena hodnota pro 50% hmotnostní přívažek.



Graf č. 7 – Podíl celkové a částečné paropropustnosti u všech vzorků za vlhka s 50% hmotnostním přívažkem

Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

2.3. Měření hydrostatické odolnosti textilií

Jak již bylo popsáno v teoretické části, měření hydrostatické odolnosti probíhalo na dvou typech přístrojů, kde se oba nacházejí na katedře hodnocení textilií. Použity byly vzorky o rozměrech 20x20cm přičemž tlak vody působil na velikost 100cm². Do přístroje byly vkládány bez nečistot, skladů nebo švů a rubní stranou vzhůru. Poté byl vzorek vždy řádně upevněn, tak aby nedocházelo k nečekanému uvolnění při nárůstu tlaku. Na přístroji M018 byly vzorky měřeny nejprve při standardním nárůstu tlaku 60cm H₂O/minutu a poté při zvýšeném 500cm H₂O/minutu. Tomuto zrychlenému postupu by měla odpovídat i rychlost nárůstu tlaku při měření na prototypu pana profesora Hese. Každý vzorek byl proměřen 5x.

Všechny způsoby měření probíhaly za těchto klimatických podmínek:

Teplota vzduchu: 23 ± 2°C

Vlhkost vzduchu: 42 ± 2%

V tabulkách jsou nejprve jednotlivé hodnoty, které byly naměřeny. V poslední tabulce jsou průměrné hodnoty z měření, variační koeficient a směrodatná odchylka. Dále je důležité zmínit, že všechny výsledky v tabulkách a grafech jsou v cm.

2.3.1. Měření při nárůstu tlaku 60cm H₂O/ minutu

Rychlost nárůstu tlaku 60cm H₂O/minutu je standardní rychlost, kterou udává norma ISO 811:1981.

Výška vodního sloupce při nárůstu tlaku 60cm H ₂ O/minutu						
		1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
Vzorek č. 1	cm H ₂ O	1380	1440	1428	1395	1432
	h:mm:ss	0:19:29	0:23:15	0:24:25	0:23:46	0:24:55
Vzorek č. 2	cm H ₂ O	2183	1992	2232	2205	2146
	h:mm:ss	0:37:45	0:35:30	0:41:53	0:37:46	0:36:55
Vzorek č. 3	cm H ₂ O	1396	1418	1350	1404	1388
	h:mm:ss	0:23:17	0:23:41	0:23:02	0:23:46	0:22:51

Tabulka č. 5 – Naměřené hodnoty při nárůstu tlaku 60cm H₂O/minutu

2.3.2. Měření při nárůstu tlaku 500cm H₂O/minutu

Rychlost nárůstu tlaku 500cm H₂O/minutu není standardní. Tato rychlost byla zvolena pro možnost porovnání výsledků s druhým přístrojem, který provádí měření právě při podobné rychlosti nárůstu tlaku. Možnost bezproblémového měření vodního sloupce za těchto rychlejších podmínek byla v předchozích letech zkoumána na Technické univerzitě v Liberci a ze které vyplývá, že tento způsob výsledky ovlivňuje jen do zanedbatelné míry a tedy je měření možno uskutečnit.

Výška vodního sloupce při nárůstu tlaku 500cm H ₂ O/minutu						
		1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
Vzorek č. 1	cm H ₂ O	1898	1816	1758	1835	1792
	h:mm:ss	0:06:08	0:05:47	0:04:13	0:05:56	0:04:55
Vzorek č. 2	cm H ₂ O	2598	2601	2653	2614	2622
	h:mm:ss	0:07:07	0:07:21	0:08:03	0:07:46	0:07:55
Vzorek č. 3	cm H ₂ O	1475	1385	1431	1402	1410
	h:mm:ss	0:04:49	0:04:01	0:04:13	0:03:56	0:04:05

Tabulka č. 6 – Naměřené hodnoty při nárůstu tlaku 500cm H₂O/minutu

2.3.3. Měření při ruční regulaci tlaku na prototypu

Toto měření probíhalo na již výše popsaném přístroji pana profesora Hese a za stejných podmínek jako na přístroji M018. Pouze ovládání nárůstu tlaku nebylo automatické, ale manuální. Naměřené hodnoty byly za pomoci již dříve zjištěných koeficientů přepočteny, tak aby korespondovaly s předešlým měřením. Hodnoty i čas měření se přibližují předchozím při vyšším nárůstu tlaku (500cmH₂O/min).

Výška vodního sloupce při měření prototypem						
		1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
Vzorek č. 1	cm H ₂ O	1440	1520	1456	1480	1520
	h:mm:ss	0:03:00	0:03:30	0:03:00	0:03:00	0:03:30
Vzorek č. 2	cm H ₂ O	1440	1520	1456	1480	1520
	h:mm:ss	0:04:30	0:04:00	0:04:00	0:04:00	0:04:30
Vzorek č. 3	cm H ₂ O	1560	1512	1536	1520	1480
	h:mm:ss	0:03:00	0:03:30	0:03:00	0:03:00	0:03:30

Tabulka č. 7 – Naměřené hodnoty při měření na prototypu

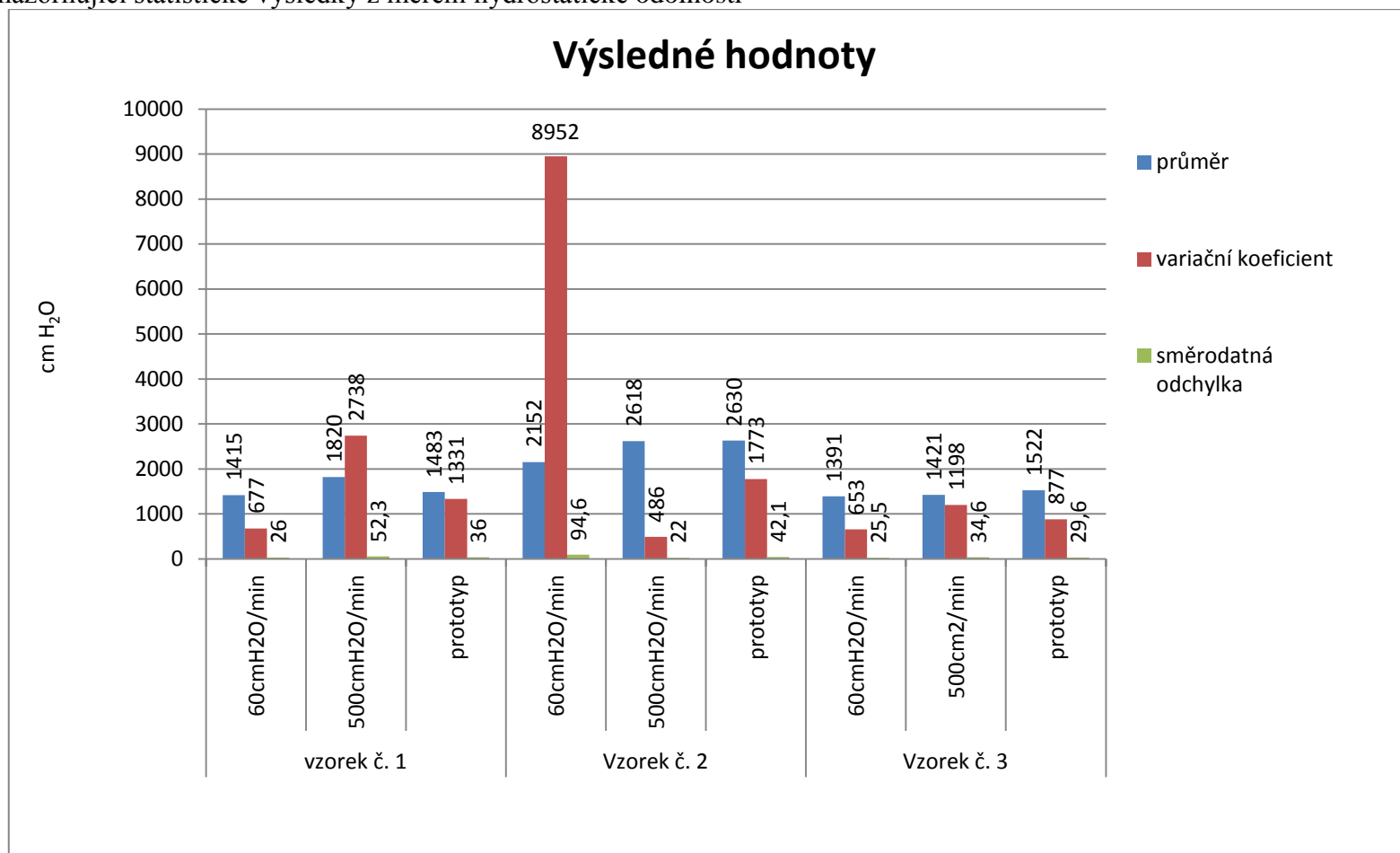
Výsledné hodnoty

Následující tabulka shrnuje všechna předešlá měření vodního sloupce. Stejně jako u měření paropropustnosti a výparného odporu, i zde je uveden průměr, variační koeficient a směrodatná odchylka pro každé z měření. Nejvyšší naměřené hodnoty můžeme pozorovat u vzorku č. 2. Naopak nejnižší hodnoty vykazuje vzorek č. 3, a v jeho těsném závěsu je vzorek č. 1. Nutno zmínit i směrodatnou odchylku, která se pohybuje v rozmezí 22-94,6 cmH₂O z čehož vyplývá, že měření bylo poměrně spolehlivé. Uvedené hodnoty jsou dále zobrazeny v grafu č. 8.

Výsledné hodnoty				
	způsob měření	průměr	variační koeficient	směrodatná odchylka
vzorek č. 1	60cmH ₂ O/min	1415	677	26
	500cmH ₂ O/min	1820	2738	52,3
	prototyp	1483	1331	36
Vzorek č. 2	60cmH ₂ O/min	2152	8952	94,6
	500cmH ₂ O/min	2618	486	22
	prototyp	2630	1773	42,1
Vzorek č. 3	60cmH ₂ O/min	1391	653	25,5
	500cm ₂ /min	1421	1198	34,6
	prototyp	1522	877	29,6

Tabulka č. 8 – Souhrnná tabulka všech vzorků a jejich statistických výsledků

Graf č. 8 znázorňující statistické výsledky z měření hydrostatické odolnosti



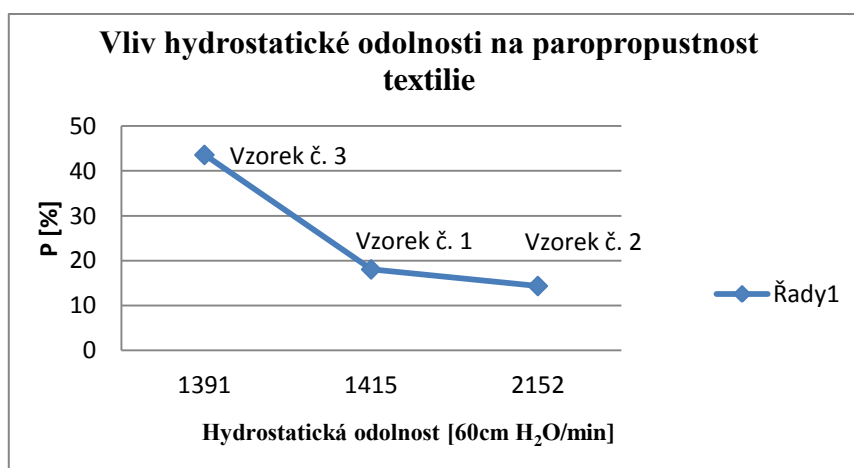
Graf č. 8 – Souhrnný graf statistických výsledků z měření hydrostatické odolnosti

2.4. Shrnutí průběhu měření a jejich výsledků

Závěrečná část této práce se týká porovnání vzájemné závislosti těchto měření, a vlivu struktury a složení vzorků na zkoumanou paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

2.4.1. Závislost hydrostatické odolnosti proměřovaných textilií na jejich paropropustnost a zhodnocení vlivu struktury a složení vzorků na těchto parametrech

Určitý vliv hydrostatické odolnosti na paropropustnost textilií je již známý jev, avšak v této práci byl tento jev zkoumán pro konkrétní vzorky. Průměry naměřených hodnot naznačují určitou závislost, ale v tomto případě nijak významnou. Při zvyšování voděodolnosti, paropropustnost jasně klesá, ale nijak lineárně. Naopak, paropropustnost se skokově láme, protože při 1391cm H₂O má 43% a už při 1415cm H₂O má jen 18%. Právě naopak rozdíl mezi 1415cm H₂O a 2151cm H₂O je znatelný, ale rozdíl paropropustností jsou pouhá 4%. To dokazuje i následující graf.



Graf č. 9 – Vliv hydrostatické odolnosti na paropropustnost proměřovaných vzorků

To naznačuje velký vliv struktury a složení vzorků na konečném hodnocení polopropustných textilií. Domníváme se, že výška vodního sloupce byla do značné míry omezena strukturou textilie, protože u žádného z měření nedošlo ke klasickému průniku tří kapek, které jsou vyžadovány k ukončení testu. Všechna měření byla ukončena protržením vzorku. Z tohoto důvodu předpokládáme, že vzorky by vydržely i větší tlak, pokud by měli lepší vazbu. Tento rozdíl můžeme nejlépe pozorovat mezi vzorky 1 a 2. Jsou si velice podobný, ale keprová vazba, kterou má vzorek č. 2 dokáže při testování vodního sloupce

Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

vydržet mnohem větší tlak, než vzorek č. 1 s plátňovou vazbou. V tomto případě až o necelých 8m H₂O. Přitom jejich paropropustnost se liší jen o necelá 4%.

Značný vliv na paropropustnost vzorků má i způsob laminace. V tomto případě byly všechny tři vzorky spojeny bodově za pomoci polyuretanového pojidla. Způsob pojení dokazují i snímky z mikroskopů, které jsou v přílohách. Na snímcích můžeme jasně pozorovat stopy pojidla, což má v konečném důsledku negativní vliv na již zmíněnou paropropustnost, protože pojidlo v daném místě zaslepí póry, kterými je potřeba odvádět vlhkost pryč od těla.

2.4.2. Paropropustnost textilií za sucha a za vlhka

Pokud je měřen suchý vzorek, dochází k odparu pouze z hlavice přístroje. Vodní pára prochází skrz měřenou textilií a je sledován poměr procházejících vodních par se vzorkem a bez vzorku. Výsledná hodnota nám pak ukazuje paropropustnost textilie, tedy to, jak je textilie schopná odvádět vodní páry pryč od pokožky.

Při měření paropropustnosti za vlhka, je textilie postupně zavlhčována. Pozorována byla celková paropropustnost a její změny při průběžném zavlhčování, kterou tvoří odpar z měřicí hlavice a odpar z povrchu zavlhčené textilie současně. Poté byla pozorována částečná paropropustnost a její změny při průběžném zavlhčování. Tedy odpar pouze z textilie. Toho bylo dosaženo za pomoci nepropustné polymerní folie vložené mezi měřicí hlavicí a vzorek. Rozdíl celkové a částečné paropropustnosti nám pak říká, jak je textilie schopná odvádět vlhkost ze svého povrchu.

Čím více je textilie zavlhčována, tím se její paropropustnost lineárně zvyšuje. Hodnoty výparného odporu se naopak lineárně snižují.

Na základě tohoto testování, může být firma Directalpine schopna navrhnout textilií, která by dokázala odvádět vlhkost od těla daleko lepším způsobem, než je využíván doposud. Tento faktor je velice důležitý při vysoké zátěži sportovců. Dále se zde naskýtá možnost, využití těchto informací v marketingové strategii firmy. Produkty jsou určeny sportovcům a to nejen rekreačním ale i vrcholovým, kteří se velice často rozhodují na základě průkazného testování materiálů.

2.4.3. Porovnání výsledků měření hydrostatické odolnosti při nárůstu tlaku 60 cmH₂O/min s prototypem

Toto měření a následné porovnání, bylo provedeno především proto, že většina firem se opírá pouze o výsledky z testování, které provedl výrobce daných materiálů, což nemusí být vždy dostačující. Jiné testování potom firmy vychází velice draho, takže ho většinou neprovádějí z důvodu udržení nízkých nákladů na výrobu. Hlavním záměrem bylo zjistit, zda je prototyp schopný stejného, případně lepšího testování materiálů jak přístroj M018 při standardním nárůstu tlaku. Můžeme předpokládat, že při výšce vodního sloupce do 20m není rozdíl naměřených hodnot příliš velký. U vzorku č. 1 je rozdíl v průměru 0,68m a u vzorku č. 3 1, 31m. Vzorek č. 2, který vykazoval vyšší hydrostatickou odolnost (21m a 26m), tak zde byl rozdíl v průměru 4, 78m.

Při všech měřeních byly vyšší hodnoty naměřeny s prototypem. To je dáno rychlostí nárůstu tlaku a výškou kulového vrchlíku. Čím je nárůst tlaku rychlejší, tím je větší výška vodního sloupce. Tato skutečnost má spojitost i s výškou kulového vrchlíků, který se tvoří z upnuté textilie vlivem působení tlaku. Při pomalém nárůstu se tvoří nižší vrchlík a tedy i celková deformace textilie je menší. Přesto je kritická hydrostatická odolnost nižší. Naopak při rychlém nárůstu napětí se tvoří vyšší kulový vrchlík a celková deformace textilie je tedy daleko vyšší. I přes to vykazuje vyšší hydrostatickou odolnost. Tento jev je vysvětlován reologickým chováním polopropustných membrán jakožto polymerních materiálů, které reagují na mechanické namáhání se zpožděním. [5] Toto chování polopropustných membrán a možnost měření hydrostatické odolnosti za rychlejšího nárůstu tlaku popisuje detailněji slečna Lečbychová ve své bakalářské práci, na kterou je již výše odkazováno. V její práci je dokazováno, že rychlejší postupy tohoto měření jsou možné.

Další velice důležitý faktor, při všech měření hydrostatické odolnosti je čas. Vzhledem k tomu, že konec měření není detekován žádnými přístroji, ale je vyžadována přítomnost člověka, tak je délka trvání samotného procesu velice důležitá. Navíc s rozvojem technologií se neustále vylepšují i jednotlivé parametry, výšky vodního sloupce nevyjímaje. A proto se toto testování na přístroji M018 prodlužuje. I přes to, že u prototypu je vykazována vyšší hydrostatická odolnost, tak doba za, kterou byly vzorky změřeny, byla o 20 – 30 minut kratší.

Na základě těchto měření a práce slečny Lečbychové, si dovoluujeme tvrdit, že tento prototyp by měl mít své místo na trhu. Jeho kladné stránky jsou nepopiratelné. Malé

Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

rozměry a nízká hmotnost přístroje, přímo vybízejí ke snadné manipulaci a případně snadnému přenášení na jiná místa. Dále je velice důležité zmínit, že přístroj je schopný zkrátit dobu měření z 23 minut na 3 minuty. Pro případnou možnost využití bude ale potřeba ještě více testování. Přístroj by byl vhodný především pro firmy jako je právě Directalpine, které nakupují materiály u asijských firem a ty nadále zpracovávají. Jeho hlavní výhoda spočívá v možnosti okamžité kontroly pořízených materiálů, protože jak je všeobecně známo, někteří výrobci zneužívají toho, že nakupující nemá zboží jak zkontrolovat.

3. ZÁVĚR

Cílem této práce, bylo prozkoumat vzorky polopropustných textilií ve spolupráci s firmou Directalpine, tedy jejich hydrostatickou odolnost a paropropustnost. Oba tyto parametry byly zkoumány nejprve klasickými metodami na základě norem k tomu určených. Poté byly provedeny i nestandardní testy, které jsou ve fázi vývoje, avšak jejich míra důležitosti je již nyní nepopíratelná.

Nejprve byly vzorky testovány na přístroji Permetest, kde byla zkoumána jejich paropropustnost a výparný odpor a to za sucha i za vlhka. Při standardním měření, tedy za sucha, byla nejlépe vyhodnocena textilie s označením Vzorek č. 3 s paropropustností 43%. Měření za vlhka spočívalo v tom, že vzorky byly nejprve vysušeny při 70°C po dobu 30 minut, aby se zjistila jejich hmotnost bez obsahu vlhkosti. Následně byly vzorky zavlhčeny, aby bylo možné měřit jejich paropropustnost za vlhka. Bylo zjištěno, že vlhkost textilie výrazně ovlivňuje hodnotu měřeného parametru. Čím více byla textilie zavlhčena, tím více stoupala paropropustnost. Výparný odpor naopak se stoupající vlhkostí klesal. Těchto výsledků bylo dosaženo díky tomu, že přístroj Permetest zaznamenával odpar z měřicí hlavičky přístroje i odpar z vlhké textilie. Poté byla mezi měřicí hlavičkou a vlhké vzorky vložena nepropustná folie, která zabraňovala prostupu vlhkosti z měřicí hlavičky skrz textilií. A tedy byl zjišťován odpar pouze z textilie. Výsledky potom ukazují, jak velký tepelný tok projde textilií a kolik vlhkosti textilie odpaří ze svého povrchu. I v tomto případě je na tom nejlépe vzorek č. 3.

Dále byla měřena hydrostatická odolnost všech tří vzorků, a to nejprve na přístroji M018 při nárůstu tlaku 60 cmH₂O/min, poté 500 cmH₂O/min a nakonec na prototypu pana profesora Hese s ruční regulací. Ve všech třech typech měření skončil nejlépe vzorek č. 2.

Samotné materiálové složení vzorků nemá na zkoumané parametry nijak výrazný vliv. Polyester i polyamid 6.6 jsou všeobecně známi pro svou nízkou navlhavost a vyšší pevnost. Významný vliv mají spíše vazby horních a spodních vrstev těchto laminátů a způsob jejich pojení. Jak značný vliv na hydrostatickou odolnost a paropropustnost vzorků mají použité membrány, se bohužel můžeme pouze domnívat, protože tyto informace jsou obsahem firemního know-how.

.

4. ZDROJE

- [1] HES, Luboš a SLUKA, Petr. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2005, s. 109. ISBN 80-7083-926-0.
- [2] 23-304-01/01. *Stanovení termofyziologických vlastností textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 7.12.2004.
- [3] ČSN EN 20811. *Stanovení odolnosti proti průniku vody - Metoda zatížení hydrostatickým tlakem*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [4] Záznam přístroje M018. In: [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.indiamart.com/premiercolorscan/textile-testing-products.html>
- [5] HES, Luboš. FAST TESTING OF HYDROSTATIC RESISTANCE OF SEMI-PERMEABLE LAMINATED FABRICS. [online]. s. 4 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: [http://www.iccmcentral.org/Proceedings/ICCM18proceedings/data/2.%20Oral%20Presentation/Aug23\(Tuesday\)/T10%20Intelligent%20textiles%20and%20composites/T10-4-AF2036.pdf](http://www.iccmcentral.org/Proceedings/ICCM18proceedings/data/2.%20Oral%20Presentation/Aug23(Tuesday)/T10%20Intelligent%20textiles%20and%20composites/T10-4-AF2036.pdf)
- [6] LEČBYCHOVÁ, Jitka. *Analýza standardní metody pro hodnocení hydrostatické odolnosti*. Liberec, 2011. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.
- [7] Český výrobce oblečení Direct Alpine chystá využití nanotextilie. *Bílý Medvěd PR* [online]. 2011 [cit. 2012-11-13]. Dostupné z: <http://bmpr.cz/tiskove-zpravy/105/cesky-vyrobce-obleceni-direct-alpine-chysta-vyuziti-nanotextilie>
- [8] JANEČKOVÁ, Irena. *Vlastnosti membrány používané v hasičských zásahových uniformách po násobném praní* [online]. Liberec, 2010 [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://www.kht.tul.cz/items/A-BP/2010/Jane%20Irena-Vlastnosti%20membr%C3%A1ny%20pou%C5%BE%C3%ADvan%C3%A9%20v%20has%C4%8Dsk%C3%BDch%20z%C3%A1sahov%C3%BDch%20uniform%C3%A1ch%20po%20n%C3%A1sobn%C3%A9m%20pran%C3%AD.pdf>. Bakalářská práce. Technická Univerzita v Liberci. Vedoucí práce Pavla Vozková.

- [9] *Directalpine: profil firmy* [online]. 2011-2012 [cit. 2012-11-15]. Dostupné z: <http://www.directalpine.cz/profil-firmy>
- [10] *Directalpine: Materiály. Directalpine.cz* [online]. 2011-2012 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: <http://www.directalpine.cz/materialy-5>
- [11] V. Novák, *Directalpine*; Soukromé sdělení
- [12] R. Knížek; Soukromé sdělení
- [13] L. Hes; Soukromé sdělení
- [14] PRŮDKOVÁ, Markéta. *Paropropustnost polopropustných textilií*. Liberec, 2008. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [15] Hes L., Araujo M.: Simulation of the Effect of Air Gaps between the Skin and a Wet Fabric on Resulting Cooling Flow. *Textile Research Journal* Vol 80(14), 1488–1497, 2010

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek č. 1 – Schéma přístroje Permetest
Obrázek č. 2 – Záznam přístroje M018
Obrázek č. 3 - Schéma polopropustné textilie
Obrázek č. 4 - Schéma mikroporézní membrány
Obrázek č. 5 - Schéma prostupu vlhkosti neporézní membránou

SEZNAM TABULEK

- Tabulka č. 1 - Tabulka pro převod Ret hodnot do dříve měřených jednotek
Tabulka č. 2 – Naměřené hodnoty vzorků při měření za sucha
Tabulka č. 3 – Souhrnná tabulka všech vzorků a jejich statistických hodnot
Tabulka č. 4 – Souhrn všech naměřených hodnot za vlhka
Tabulka č. 5 – Naměřené hodnoty při nárůstu tlaku 60cm H₂O/minutu
Tabulka č. 6 – Naměřené hodnoty při nárůstu tlaku 500cm H₂O/minutu
Tabulka č. 7 – Naměřené hodnoty při měření na prototypu
Tabulka č. 8 – Souhrnná tabulka všech vzorků a jejich statistických výsledků

SEZNAM GRAFŮ

- Graf č. 1 – Souhrnný graf statistických výsledků z měření paropropustnosti za sucha
Graf č. 2 – Vliv vlhkosti na paropropustnost vzorku č. 1
Graf č. 3 – Vliv vlhkosti na výparný odpor u vzorku č. 1
Graf č. 4 – Porovnání vlivu vlhkosti na paropropustnost s nepropustnou folií a bez folie u vzorku číslo 1
Graf č. 5 – Porovnání vlivu vlhkosti na výparný odpor s nepropustnou folií a bez folie u vzorku číslo 1
Graf č. 6 – Porovnání celkové paropropustnosti všech vzorků za vlhka s 50% hmotnostním přívazkem
Graf č. 7 – Podíl celkové a částečné paropropustnosti u všech vzorků za vlhka s 50% hmotnostním přívazkem
Graf č. 8 - Souhrnný graf statistických výsledků z měření hydrostatické odolnosti
Graf č. 9 - Vliv hydrostatické odolnosti na paropropustnost proměřovaných vzorků

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I. – mikroskopický pohled na příčný řez vzorku č. 1

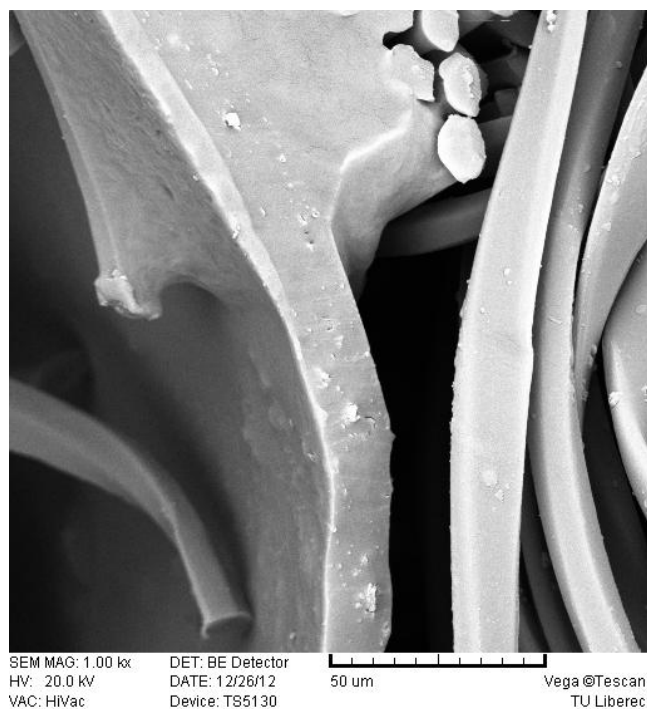
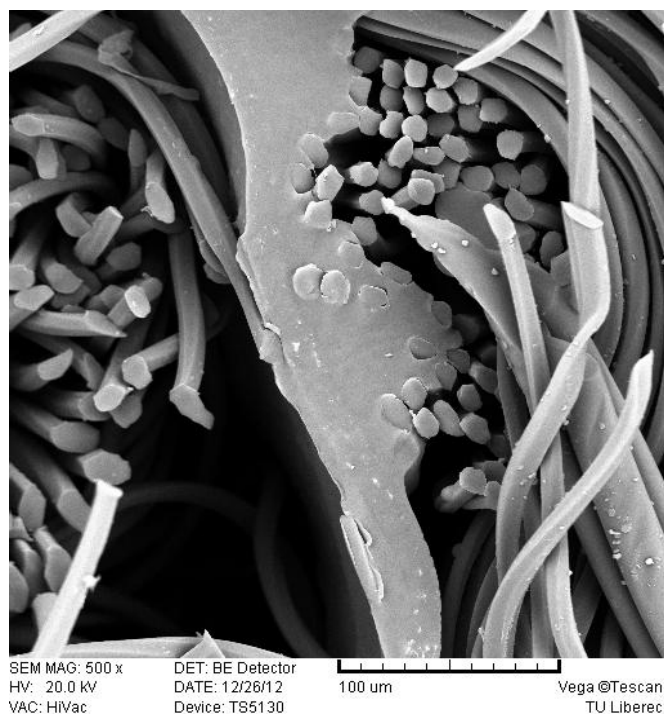
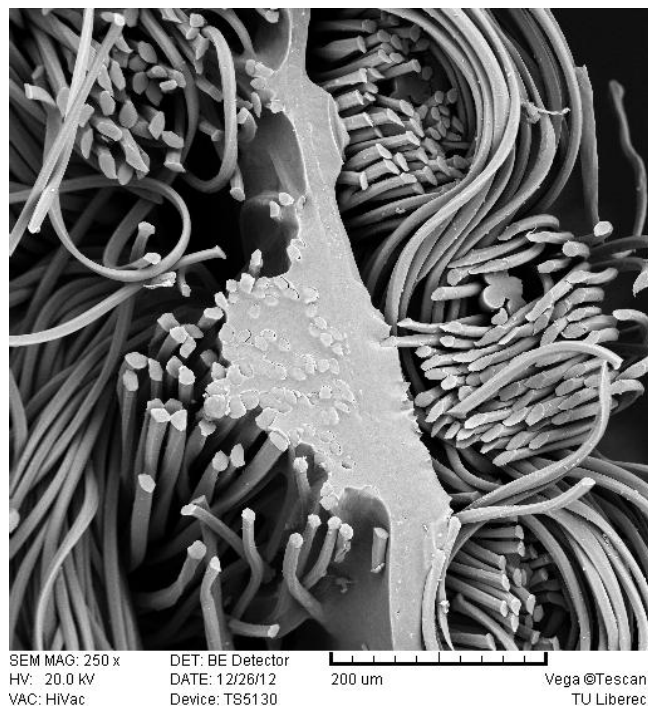
Příloha II. - mikroskopický pohled na příčný řez vzorku č. 2

Příloha III. - mikroskopický pohled na příčný řez vzorku č. 3

Příloha IV. – záznam průběhu měření hydrostatické odolnosti na prototypu

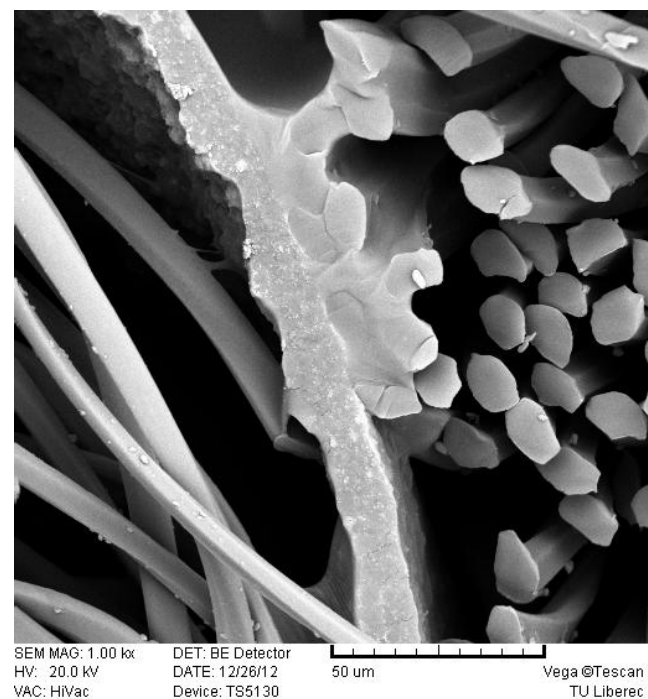
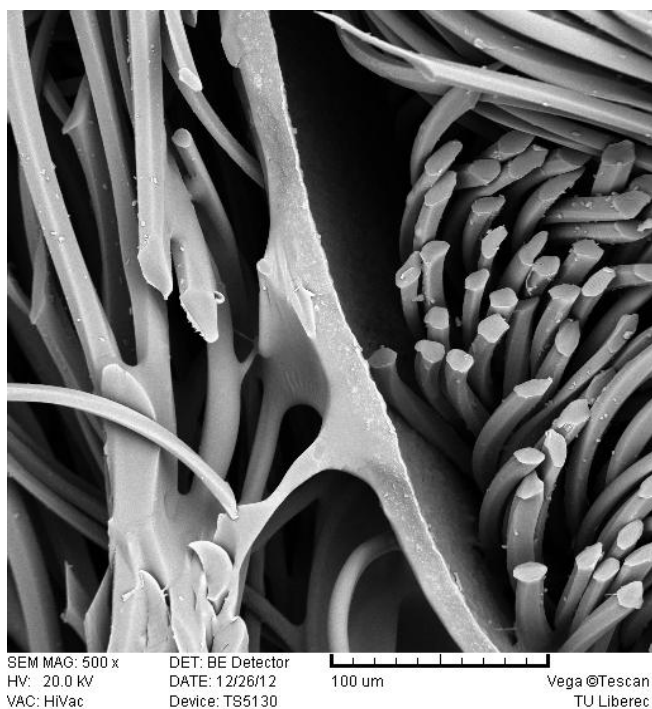
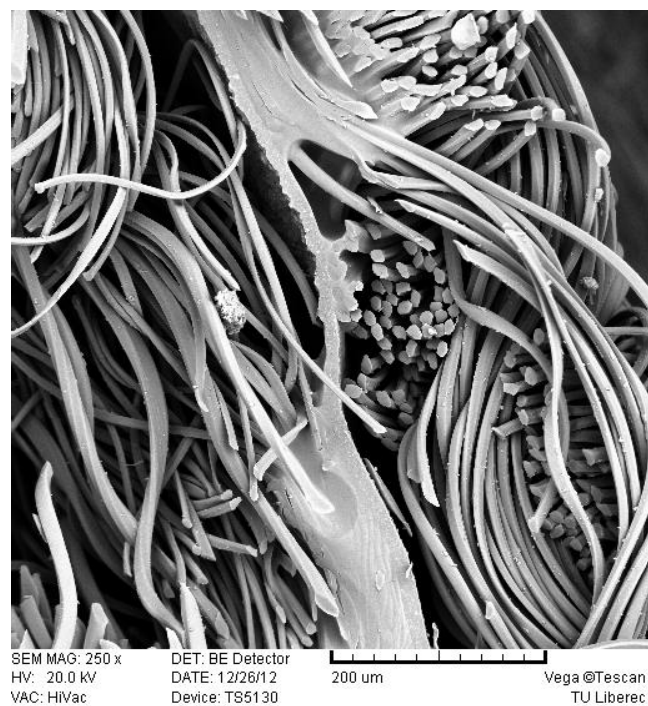
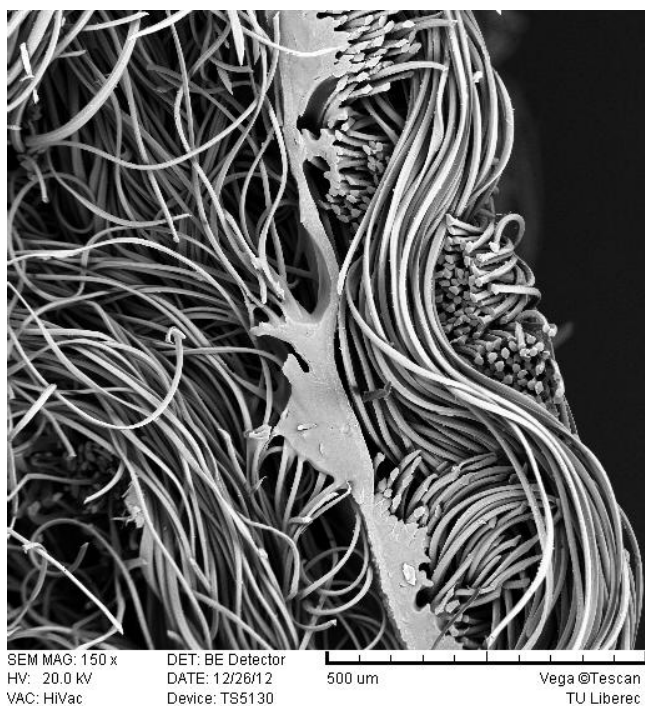
5. PŘÍLOHY

Příloha I. – mikroskopický pohled na příčný řez vzorku č. 1



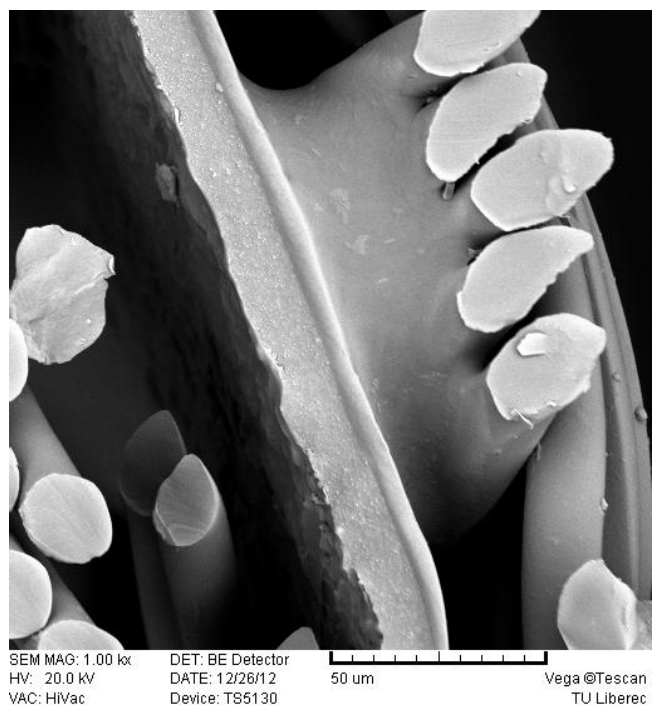
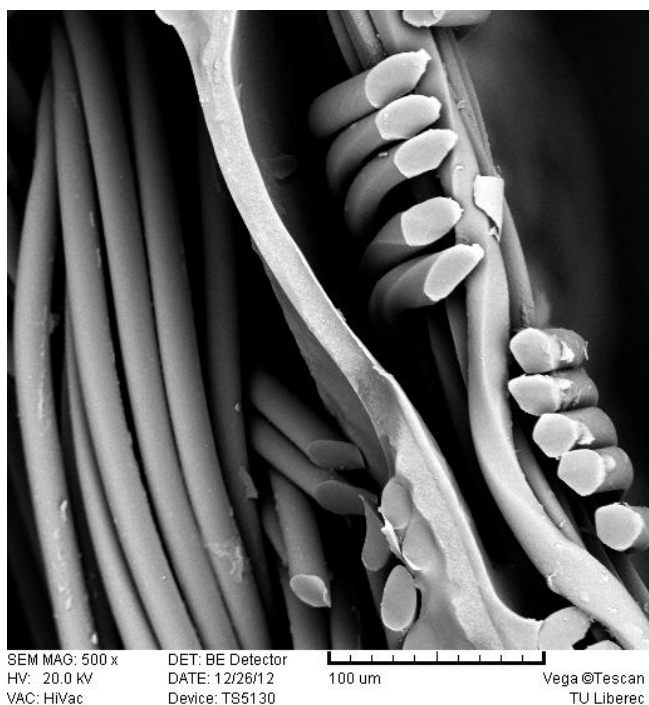
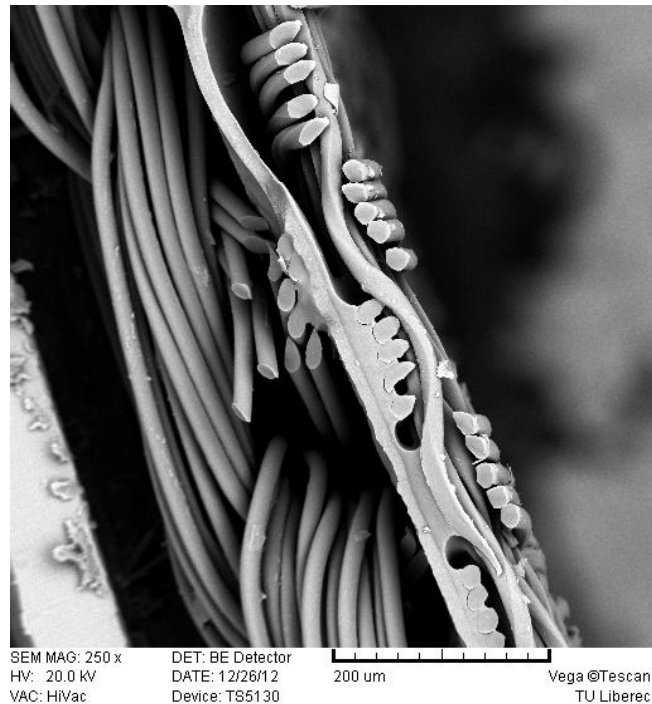
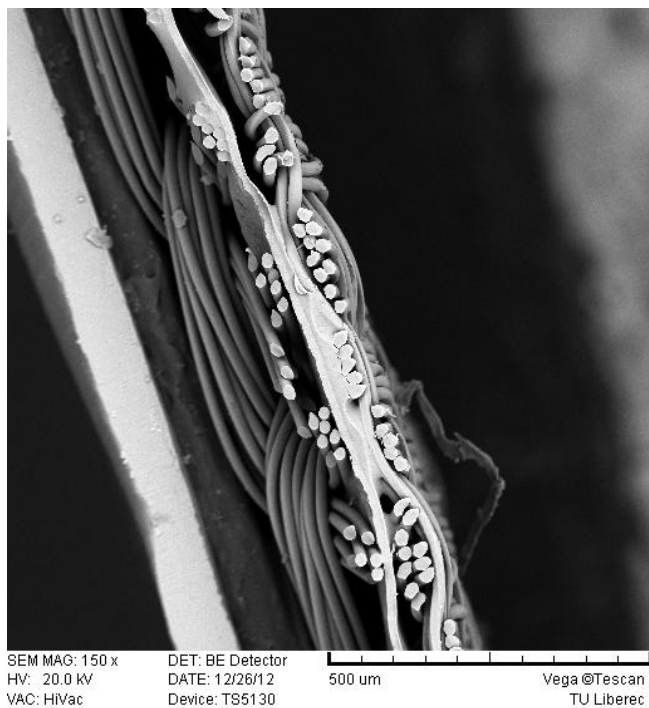
Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

Příloha II. - mikroskopický pohled na příčný řez vzorku č. 2



Vliv struktury a složení polopropustné textilie na její paropropustnost a hydrostatickou odolnost.

Příloha III. - mikroskopický pohled na příčný řez vzorku č. 3



Příloha IV. – záznam průběhu měření hydrostatické odolnosti na prototypu

